

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.4.027>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## 유해산출물을 고려한 국내 공항 효율성 측정에 관한 연구

강달원\*, 정동훈\*\*, 전승준\*\*\*

## A Study of Analysis for Domestic Airport Efficiency Considering Undesirable Output

Dalwon Kang\*, Donghun Jeong\*\*, Seungjoon Jeon\*\*\*

## ABSTRACT

Recently, Intense competition is expected to bring about continuous change with the rapid global aviation industry. In particular, domestic passenger demand has been steadily increasing over the past five years, with domestic and international shipments growing at a CAGR of 8.4% and 10.0%, respectively. In addition to the economic value of the airport, social interest due to greenhouse gas emissions is also rising.

In this study, we analyzed the efficiency of airport operation by using DEA model(Directional Technology Distance Function) considering undesirable output for 14 airports in Korea. As a result of analysis, all airports except Gimhae, Yangyang, Cheongju and Yeosu were analyzed as efficient airports. However, only Gimpo, Gimhae, Jeju, Muan, Daegu and Gwangju were analyzed as efficient airports considering the undesirable output.

**Key Words** : Airport(공항), Undesirable Output(유해산출물), Efficiency Analysis(효율성 분석), Directional Technology Distance Function(방향성생산거리함수)

## I. 서 론

전세계 항공운송 관련 산업은 저비용항공사의 급격한 성장, 장거리 저비용항공사의 등장, 기존 항공사들의 새로운 사업모델 개발 등 전세계 항공사들의 경쟁 심화로 지속적인 변화가 예상되고 있다. 최근 5년간 국내 여객 수요는 저비용

항공사 활성화, 중국인 방문객 증가 등의 영향으로 국내선이 연평균 8.4%, 국제선이 연평균 10.0% 지속적으로 증가하고 있다. 특히 LCC의 점유율은 국내선의 경우 2017년 56.9%, 국제선은 26.4%의 점유율을 나타내고 있다.[1]

국내 LCC의 발달로 인해 지방 공항 운영측면의 효율성뿐만 아니라 공항의 경제적 가치에 대해 관심이 높아지고 있지만, 반대급부로 공항에서 방출되는 온실가스가 환경적 측면에서 부정적인 결과를 초래한다는 점을 간과하지 않을 수 없게 되었다.[2]

항공부문의 온실가스 저감을 위한 정책으로는 국토교통부가 주도로 '항공부문의 온실가스 저감 활동 촉진을 위한 자발적 협약의 협약서'를 작성

Received : 15. Nov. 2018. Revised : 20. Dec. 2018.

Accepted : 26. Dec. 2018

\* 가톨릭관동대학교 항공경영학과 교수

\*\* (재)북방물류연구지원센터 물류기획팀장

\*\*\* 가톨릭관동대학교 항공운항학과 교수

연락처자 E-mail : jaydhoony@naver.com

연락처자 주소 : 강원도 동해시 공단1로 177 (재)

북방물류연구지원센터

하여 주요항공사와 협약을 체결하여 시행중이다. 이에 따라 감축목표를 달성한 항공사는 '녹색항공사표창' 및 '운수권배분' 등에 인센티브를 부여하고 있다. 또한 정부는 ICAO 총회에서 의결된 '국제항공의 온실가스 감축을 위한 국가이행계획'에 따라 2050년 예상배출량(BAU) 대비 30% 감축을 목표로 항공기 연료효율을 매년 1.3%씩 개선할 계획이며 이로 인해 항공부문 온실가스 1,052만 톤을 감축할 수 있을 것으로 예상하고 있다.[3]

본 논문에서는 국내 14개 공항을 대상으로 유해산출물을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 효율성을 분석하여 국내 공항을 대상으로 유해산출물을 저감을 위한 사회적 시사점을 도출할 수 있는 연구를 하고자 한다.

## II. 이론적 고찰

항공산업과 관련된 효율성 평가에 관한 연구는 활발히 수행되어 왔다.

Sarkis(2000) 연구에서는 미국의 44개의 주요 공항에 대해서 운영효율성 분석을 수행하였다. 활주로 수, 게이트 수, 종업원 수, 재무비용 등의 투입변수와 운영이익, 항공사의 운항횟수, 일반항공의 운항횟수, 여객처리실적, 운항횟수 등의 산출변수를 통한 효율성 분석 결과 공항의 지위와 공항의 지리적 위치가 공항의 운영 효율성과 관련 있는 것으로 나타났다.[4]

Kim(2003) 연구에서는 국내 관제탑의 성과측정과 벤치마킹 문제를 논의하기 위해 DEA모형을 이용하여 국내 16개 공항 중 민간 항공교통관제사가 파견되어 있는 15개 공항을 대상으로 상대적 효율성을 측정하였다. 투입변수로 관제사 수, Stand 수, Airside 넓이, 활주로 수와 산출변수로 운항횟수를 이용하여 분석을 수행하였다. 잠정적인 개선사항에 대한 분석결과 운항횟수 개선이 1순위이며, 다음으로 활주로 수, Airside 넓이, 관제사 수, Stand 수 순으로 분석되었다. 15개 공항 중 효율성을 지닌 관제탑은 김포, 김해, 제주, 대구 등 4개 공항으로 분석되었다.[5]

Yeo & Lee(2007) 연구에서는 국제항공운송회사의 국제간 비용효율성을 비교하기 위하여 효율성분석을 실시하였다. 대표적 산출물로 운송

실적(유상톤키로미터, 화물톤키로미터, 유효톤키로미터, 유상여객톤키로미터), 운송수입(정기수입, 부정기수입, 부가수입)을 이용하여 20개의 주요 항공사를 대상으로 항공사들간의 비효율성을 SFA모델로 분석하였다. 분석결과 전반적인 항공사의 비효율성은 7.20%로 분석되었다. 또한 항공사간 전략적 제휴 이전과 이후로 나누어 비효율성을 분석한 결과 전략적 제휴 이후 비효율성이 증가한 것으로 나타났다.[6]

Fung et al.(2008) 연구에서는 1995년부터 2004년까지 중국공항의 생산성변화패턴을 측정하였다. 투입변수는 활주로 길이와 터미널 크기로 선정하였고 산출변수는 여객처리실적, 화물처리실적, 운항횟수를 이용하여 분석하였다.[7]

Shin & Jeong(2013) 연구에서는 항만의 효율성을 유해산출물과 방향성거리함수를 이용하여 분석하였다. 동 연구에서는 안벽길이, 크레인 수, 야드 면적을 투입변수로 두고 산출변수는 처리물동량과 이산화탄소 배출량으로 분석을 수행하였다. 산출변수 중 이산화탄소 배출량을 유해산출물로 선정하였다. 그리고 DMU로는 부산항의 5개 터미널과 광양항의 3개 터미널을 기준으로 4년간 데이터로 분석하였다. 분석결과 신전대 터미널이 4년간 모두 높은 효율성으로 나타났다. 그리고 자성대, 감만, 신감만 및 KIT는 3년간 효율성 값이 높게 나타났다. 우암 터미널은 2010년에 효율성 값이 1로 나타났다. 유해산출물을 고려하지 않은 BCC 모델의 효율성 추정 결과 2007년 감만, 신감만, 2010년 신전대, 우암 터미널이 효율적인 DMU로 도출되었다.[8]

Lee & Yeo(2015) 연구에서는 국내 공항 효율성에 대해 SBM-DEA 방법론을 통해 분석하였다. 터미널면적과 에너지사용량을 투입변수로 하고 기대산출변수를 여객 수 및 화물, 기대하지 않는 산출변수를 탄소배출로 설정하였으며 DMU는 국내 14개의 공항을 선정하였다. 분석결과, CCR 모형 기준으로는 제주, 광주, 군산 공항 등이 운영 측면에서 효율이 높은 것으로 나타났으나 양양 공항은 CCR 모형 및 BCC 모형 모두에서 비효율적인 공항으로 나타났다. 규모의 효율은 김해, 대구, 청주, 여수, 포항, 양양 공항에서 규모의 효율이 발생한 것으로 분석되

있으며 환경효율성 분석에서는 제주, 광주, 군산 공항이 효율이 높은 것으로 나타났다.[9]

또한, Nam et al.(2016) 연구에서는 국내 저가항공사를 대상으로 DEA 기법을 사용하여 우리나라 저가항공사의 경영효율성을 분석하였는데 투입변수로는 항공사의 매출원가, 판매비를 선정하였고, 산출요소는 매출액으로 하여 분석하였다.[10]

Yoo et al.(2017) 연구에서는 공항의 프로세스를 2단계 구조로 모형화하여 효율성 분석을 수행하였다. 1단계에서는 시설, 인력 등 물리적 자원을 이용하여 여객 및 화물의 처리, 항공기 운항 등 물리적 산출물을 생성하는 운영 단계의 효율성 분석을 수행하였고, 2단계에서는 1단계에서 생성된 물리적 산출물을 재무적 수익으로 전환하는 수익 단계로 분석을 진행하였다. 2014년 세계항공교통학회에서 펴낸 전 세계 공항 데이터를 이용하여 상기와 같이 모형화되는 공항의 효율성을 2단계 네트워크 DEA 모형으로 측정하였고 공항의 지역적 위치, 공항 규모, 상장 여부, 그룹화 경영 여부, 국제선 비율 등 공항의 환경변수와 효율성 간의 관계를 분석하였다.[11]

Table 1. Previous Studies about DEA Using Undesirable Output

연구자	투입변수	산출변수	방법론
Sarkis, J. (2000)	·활주로 수 ·게이트 수 ·종업원 수 ·재무비용	·운영이익 ·항공사 운항횟수 ·일반항공의 운항횟수 ·여객처리실적 ·운항횟수	·DEA
김도현 (2003)	·관제사 수 ·Stand 수 ·Airside 넓이 ·활주로 수	·운항횟수	·DEA
여규현& 이영수 (2007)	-	·운송실적 ·운송수입	·SFA
Fung et al. (2008)	·활주로 길이 ·터미널 크기	·여객처리실적 ·화물처리실적 ·운항횟수	·DEA
신창훈& 정동훈 (2013)	·안벽길이 ·크레인 수 ·아드 면적	·유익산출물: 처리 물동량 ·유해산출물: 이산화탄소 배출량	·DEA-BCC ·방향성거리함수
이태휘& 여기태 (2015)	·터미널 면적 ·에너지 사용량	·기대산출변수: 여객 수, 화물 ·기대하지 않는 산출 변수: 탄소배출	·SBM-DEA
남승민 외 (2016)	·매출원가 ·판매비	·매출액	·DEA
유석천 외 (2017)	·시설 ·인력	·여객 ·화물처리 ·항공기 운항	·Network-DEA

본 연구에서는 선행연구에서 적용되었던 유해산출물 개념을 바탕으로 DEA 분석을 수행하였다. 다만 앞서 언급된 선행연구 가운데 Lee & Yeo(2015) 연구에서는 본 연구와 마찬가지로 탄소배출을 기대하지 않은 산출변수로 적용하여 DEA-SBM 분석을 수행하였다.

DEA-SBM 분석 모형은 방사적인 일반적인 DEA 모형이 아닌 비방사적 슬랙을 반영함으로써 좀 더 정확한 효율성을 측정할 수 있는 장점이 있다.

하지만, 일반적으로 유해산출물을 적용하여 분석할 경우에는 부족산출분에 대한 부분을 분석하기 쉽지 않기 때문에 약처분성을 가정하여 분석을 수행해야 하며 이를 위해서는 방사적 측정 기법을 적용하여 분석해야 하는데 유해산출물에 대한 약처분성을 고려하여 분석하기 위해서는 생산거리함수를 적용하여 분석을 수행해야 한다.

만약 비방사적 측정기법을 적용할 경우에는 유해산출물에 대한 약처분성을 가정하는 의미가 없어진다.[12]

이에 본 연구에서는 앞서 언급된 연구와는 차별적으로 유해산출물의 약처분성을 가정한 후 방향성 생산거리함수를 적용하여 효율성 분석을 수행하였고, 본 연구에 사용된 투입, 산출 변수들은 한국공항공사의 홈페이지 및 내부자료 등 최신자료를 사용하여 분석에 적용하였다.

### III. 방법론

#### 3.1 DEA 모형 개념

DEA(Data Envelopment Analysis : 이하 DEA) 방법은 비모수적 효율성 측정 방법으로써 선형계획법에 근거한 경험적 프론티어를 도출한 후 평가대상들이 효율적인 값으로부터 얼마나 떨어져 있는지의 여부를 비교하여 비효율성을 측정하는 방법이다.

DEA 방법은 사용 목적에 따라 여러 가지 모형이 있는데 그 중 대표적인 것은 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)가 제시한 CCR 모형과 Banker, Charnes, and Cooper(1984)의 BCC 모형 등이 있다. CCR 모형은 규모에 대한 수익 불변<sup>1)</sup> 가정 하에 효율성을 분석하기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지

1) CRS : Constant Return to Scale

못하는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하여 제시된 BCC 모형은 규모에 대한 수익가변<sup>2)</sup> 가정 하에 효율성을 측정한다.[13][14]

공항은 공항 시설규모에 따라 공항개발에 많은 투자와 공항건설에 긴 시간이 소요된다. 또한 여객터미널 면적 및 활주로, 장비 등과 같은 투입요소들을 효율적으로 운영하여 최대의 산출물을 생산하기 위한 노력이 요구된다. 이에 본 연구에서 공항산업은 규모의 경제가 존재한다는 것을 가정하여 BCC 산출지향 모형을 이용한 효율성을 분석 하였다.

### 3.2 방향성 거리함수 모형 개념

일반적인 DEA 모형은 유해산출물을 고려하여 분석하는데 제약이 따른다. 이에 본 연구에서는 방향성 생산거리함수를 도입하여 DEA 분석을 시행하였다.

방향성 생산거리함수는 산출물 중에서 온실가스와 같은 유해산출물이 존재하는 경우에 사용 가능한 함수로써 기존의 거리함수를 포괄할 수 있는 새로운 개념의 거리함수이다.[15]

일반적으로 방향성 거리함수는 방향성 투입물거리함수와 방향성 산출물거리함수, 방향성 생산거리함수로 구분된다. 방향성 투입물거리함수는 일정하게 주어진 산출물을 생산하기 위해 투입물 감축정도를 측정하는 것이다. 또한, 방향성 생산거리함수는 투입물과 산출물을 동시에 조절할 수 있는 것을 의미한다.[16]

방향거리함수의 추정을 위해 우선 생산 프론티어 추정을 위한 선형계획프로그램을 다음과 같이 설정한다. t기의 보수불변을 가정한 약처분성의 생산 프론티어 추정모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 T_{CRS}^t = (x^t, y^t, b^t) : & \sum_k Z_k y_{k,m}^t \geq y_m^t, \quad m = 1, 2, \dots, M \\
 & \sum_k Z_k b_{k,j}^t = b_j^t, \quad j = 1, 2, \dots, J \\
 & \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq x_n^t, \quad n = 1, 2, \dots, N \\
 & Z_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식(1)에서의 산출요소(y)와 투입요소(x)는 각각 강처분성을 가정하고 유해산출물(b)는 약처분성을 가정하여 각각 부등호 및 등호의 제약조건을 갖게 된다.

또한 0기의 생산함수에서 특정 DMU인 K'의 방향거리함수 β값은 다음과 같은 선형계획식에 의해 계산될 수 있다.[17]

$$\begin{aligned}
 \overline{D}_{T,CRS}^t(x^{k^t}, y^{k^t}, b^{k^t}, -g_x, g_y, -g_b) = \max \beta \\
 s.t. \sum_k Z_k y_{k,m}^t \geq y_{k,m}^t + \beta g_{y,m}, \quad m = 1, 2, \dots, M \\
 \sum_k Z_k b_{k,j}^t = b_{k,j}^t - \beta g_{b,j}, \quad j = 1, 2, \dots, J \\
 \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq x_{k,n}^t - \beta g_{x,n}, \quad n = 1, 2, \dots, N \\
 Z_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

연구의 특성에 따라서 방향성 벡터는 여러 가지로 설정할 수 있다. 본 연구에서는 방향성 벡터를 DMU의 투입물과 산출물로 설정하였다. 또한 방향투입거리함수와 산출거리함수를 동시에 고려한 Luenberger 생산성 지수를 이용하였다.

$$\begin{aligned}
 \overline{D}_{T,CRS}^t(x^{k^t}, y^{k^t}, b^{k^t}, -g_x, g_y, -g_b) = \max \beta \\
 s.t. \sum_k Z_k y_{k,m}^t \geq (1 + \beta) y_{k,m}^t, \quad m = 1, 2, \dots, M \\
 \sum_k Z_k b_{k,j}^t = (1 - \beta) b_{k,j}^t, \quad j = 1, 2, \dots, J \\
 \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq (1 - \beta) x_{k,n}^t, \quad n = 1, 2, \dots, N \\
 Z_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

위 식에서 추정한 효율성지수 값 β는 효율성에 도달하기 위한 거리 값(비효율성)으로 계산하기 위해 다음과 같은 수식을 이용하였다.

$$\lambda = 1 - \beta \tag{4}$$

최종적으로 효율성 값 λ는 1에 가까울수록 효율성이 높은 것으로 해석 할 수 있다.

본 연구에서는 앞서 계산된 식을 통해 유해산출물을 고려하여 공항 효율성을 분석하였다. 분석에 사용된 프로그램은 LINGO 12.0이다.

2) VRS : Variable Return to Scale

### IV. 실증분석

#### 4.1 변수 선정

본 연구에서는 2015~2016년 기준 김포공항, 김해공항, 제주공항 등 한국공항공사에 등록된 14개의 공항을 대상으로 효율성 분석을 수행하였다.

효율성 분석에 사용된 데이터는 한국공항공사 내부자료 및 홈페이지에서 제공하는 자료를 활용하였다.

Table 2. Name of DMU for Efficiency Analysis

DMU		공항명
2015	2016	
DMU1	DMU15	김포 공항
DMU2	DMU16	김해 공항
DMU3	DMU17	제주 공항
DMU4	DMU18	양양 공항
DMU5	DMU19	무안 공항
DMU6	DMU20	청주 공항
DMU7	DMU21	대구 공항
DMU8	DMU22	광주 공항
DMU9	DMU23	울산 공항
DMU10	DMU24	여수 공항
DMU11	DMU25	포항 공항
DMU12	DMU26	사천 공항
DMU13	DMU27	원주 공항
DMU14	DMU28	군산 공항

본 연구에 사용된 변수는 기존연구를 바탕으로 다수의 투입변수와 다수의 산출변수를 선정하여 분석하고자 한다. 앞서 이론적 고찰에서 공항의 효율성과 관련된 선정변수를 검토한 결과에 따르면 대부분의 연구에서 공항의 여객 및 매출액을 산출요소로 선정하고 있다. 투입요소는 연구자들마다 다소 상이하나, 대부분 공항별 면적, 활주로, 장비 등과 같은 변수를 사용하여 분석하고 있다.

본 연구에서는 공항별 직원 수, 공항별 부지 면적, 여객터미널 면적, 공항장비, 활주로 면적 등을 투입변수로 선정하였고, 산출변수 중 공항별 이용 여객과 공항별 매출액, 공항별 화물처리량은 유익산출변수로 적용하여 효율성을 분석하였고, 온실가스 배출량을 유해산출변수로 선정하여 분석하였다.

Table 3. The Variable of Input and Output

변수	변수명		단위	
투입	X1	공항 직원 수	명	
	X2	공항 부지 면적	m <sup>2</sup>	
	X3	여객터미널 면적	m <sup>2</sup>	
	X4	공항 장비	대	
	X5	활주로 면적	m <sup>2</sup>	
산출	Y1	유익 산출물	공항별 이용 여객	천명
	Y2		공항별 매출액	백만원
	Y3		공항별 화물처리량	ton
	b	유해 산출물	온실가스 배출량	tCO <sub>2</sub>

투입요소와 산출요소의 기술통계량을 살펴보면 평균 직원 수는 약 101명, 평균 공항부지면적은 2,002,609.7m<sup>2</sup>, 평균장비대수는 4.6대, 평균 이용여객은 5,098.0명, 평균 매출액은 57,435.9백만 원, 평균 화물처리량은 56702.9ton, 평균 온실가스 배출량은 약 4,468.2 tCO<sub>2</sub> 인 것으로 나타났다.

Table 4. Descriptive Statistic of the selected Input and Output Variables

변수	N	최소값	최대값	평균	표준편차
공항 종업원 수	28.0	20.0	452.0	101.1	118.4
공항 부지면적	28.0	16,429.0	8,440,923.0	2,002,609.7	2,233,250.1
여객 터미널 면적	28.0	1,596.0	130,928.0	34,331.5	40,735.3
활주로 면적	28.0	90,000.0	354,000.0	197,592.4	89,305.6
공항 장비	28.0	2.0	14.0	4.6	3.3
공항 이용 여객 ('15~'16)	28.0	68.0	29,707.0	5,098.0	8,922.7
공항별 매출액 ('15~'16)	28.0	223.0	342,185.0	57,435.9	107,692.2
공항별 화물처리량 ('15~'16)	28.0	0.0	291,494.0	56,702.9	101,819.9
온실가스 배출량 ('15~'16)	28.0	120.0	30,823.0	4,468.2	8,013.3

자료 : 한국공항공사 홈페이지 및 한국공항공사 내부자료

### 4.2 효율성 분석

본 연구에서는 방향거리합수를 이용하여 유해산출물을 고려한 분석 모형과 유해산출물을 고려하지 않은 분석 모형에 대한 분석결과를 제시하고자 한다.

분석결과 유해산출물을 고려하지 않은 모형의 효율성 추정치가 유해산출물을 고려한 모형에 비해 평균 효율성 점수가 높게 분석되었다.

유해산출물을 고려하지 않은 모형에서는 2015년도 7개, 2016년도 10개의 공항이 효율적인 공항으로 분석되었고, 유해산출물을 고려한 모형에서는 2015년도 4개, 2016년도 6개의 공항이 효율적인 것으로 나타났다.

Table 5. Descriptive Statistic of efficiency Analysis

구분	유해산출물 고려	유해산출물 고려하지 않음
N	28.00	28.00
최대값	1.00	1.00
최소값	0.06	0.38
평균	0.62	0.92
표준편차	0.34	0.16
효율적 DMU 수	10(36%)	17(61%)

주) ( )는 전체 DMU 대비 효율적인 터미널 수 비율임

유해산출물을 고려하지 않은 BCC 산출지향 모형을 이용한 효율성 분석 결과를 살펴보면, 2015년에는 김포공항(DMU1), 김해공항(DMU2), 양양공항(DMU4), 광주공항(DMU8), 울산공항(DMU9), 포항공항(DMU11), 원주공항(DMU13)이 효율적인 공항으로 나타났으며, 2016년도에는 김포공항(DMU15), 제주공항(DMU17), 무안공항(DMU19), 대구공항(DMU21), 광주공항(DMU22), 울산공항(DMU23), 포항공항(DMU25), 사천공항(DMU26), 원주공항(DMU27), 군산공항(DMU28)이 효율성이 높게 나타났다. 2016년도 효율적인 공항 중 김해공항(DMU2)과 양양공항(DMU4)을 제외한 대부분의 공항별 효율성 값은 2015년도에 비해 높게 분석되었다.

Table 6. Efficiency Analysis for NOT Considering Undesirable Output

공항	2015		2016	
	DMU1	1.0000	DMU15	1.0000
김해	DMU2	1.0000	DMU16	0.9600
제주	DMU3	0.9600	DMU17	1.0000
양양	DMU4	1.0000	DMU18	0.8000
무안	DMU5	0.9700	DMU19	1.0000
청주	DMU6	0.3800	DMU20	0.4800
대구	DMU7	0.8400	DMU21	1.0000
광주	DMU8	1.0000	DMU22	1.0000
울산	DMU9	1.0000	DMU23	1.0000
여수	DMU10	0.6600	DMU24	0.7600
포항	DMU11	1.0000	DMU25	1.0000
사천	DMU12	0.9400	DMU26	1.0000
원주	DMU13	1.0000	DMU27	1.0000
군산	DMU14	0.9900	DMU28	1.0000

유해산출물을 고려하여 방향성 생산거리합수 모형을 이용한 효율성 분석 결과를 살펴보면, 2015년도에는 김포공항(DMU1), 김해공항(DMU2), 제주공항(DMU3), 광주공항(DMU8) 만이 효율적인 공항으로 분석되었으며, 2016년도에는 김포공항(DMU15), 김해공항(DMU16), 제주공항(DMU17), 무안공항(DMU19), 대구공항(DMU21), 광주공항(DMU22)이 효율적인 공항으로 나타났다.

Table 7. Efficiency Analysis for Considering Undesirable Output

DMU		2015	DMU	2016
김포	DMU1	1.0000	DMU15	1.0000
김해	DMU2	1.0000	DMU16	1.0000
제주	DMU3	1.0000	DMU17	1.0000
양양	DMU4	0.6510	DMU18	0.0560
무안	DMU5	0.0957	DMU19	1.0000
청주	DMU6	0.4024	DMU20	0.5731
대구	DMU7	0.7748	DMU21	1.0000
광주	DMU8	1.0000	DMU22	1.0000
울산	DMU9	0.2936	DMU23	0.3416
여수	DMU10	0.2000	DMU24	0.2170
포항	DMU11	0.2112	DMU25	0.0582
사천	DMU12	0.4292	DMU26	0.4897
원주	DMU13	0.5664	DMU27	0.6325
군산	DMU14	0.5631	DMU28	0.7388

유해산출물을 고려하지 않았을 때의 공항들의 효율성과 고려했을 때의 공항들의 효율성을 비교해보면 효율적인 공항이 다소 감소되는 것으로 나타났다. 연도별 유해산출물 고려 유무에 따른 효율성을 비교해보면 2015년에는 양양공항(DMU4), 울산공항(DMU9), 포항공항(DMU11), 원주공항(DMU13) 등의 DMU가 효율성이 감소한 것으로 분석되었다. 그리고 2016년도에는 울산공항(DMU23), 포항공항(DMU25), 사천공항(DMU26), 원주공항(DMU27), 군산공항(DMU28) 등의 DMU가 효율성이 감소한 것으로 나타났다.

Table 8. Comparison of Efficiency Analysis

DMU		2015	
		유익산출물	유해산출물 포함
김포	DMU1	1.0000	1.0000
김해	DMU2	1.0000	1.0000
제주	DMU3	0.9600	1.0000
양양	DMU4	1.0000	0.6510
무안	DMU5	0.9700	0.0957
청주	DMU6	0.3800	0.4024
대구	DMU7	0.8400	0.7748
광주	DMU8	1.0000	1.0000
울산	DMU9	1.0000	0.2936
여수	DMU10	0.6600	0.2000
포항	DMU11	1.0000	0.2112
사천	DMU12	0.9400	0.4292
원주	DMU13	1.0000	0.5664
군산	DMU14	0.9900	0.5631
DMU		2016	
		유익산출물	유해산출물 포함
김포	DMU15	1.0000	1.0000
김해	DMU16	0.9600	1.0000
제주	DMU17	1.0000	1.0000
양양	DMU18	0.8000	0.0560
무안	DMU19	1.0000	1.0000
청주	DMU20	0.4800	0.5731
대구	DMU21	1.0000	1.0000
광주	DMU22	1.0000	1.0000
울산	DMU23	1.0000	0.3416
여수	DMU24	0.7600	0.2170
포항	DMU25	1.0000	0.0582
사천	DMU26	1.0000	0.4897
원주	DMU27	1.0000	0.6325
군산	DMU28	1.0000	0.7388

## V. 결 론

본 연구에서는 국내 한국공항공사 소속의 공항을 대상으로 효율성을 분석하였다. 이에 기존 연구와 차별적으로 온실가스와 같은 유해산출물을 투입변수로 사용하여 방향성 생산 거리함수로 생산효율성을 분석하였다.

유해산출물을 고려하지 않은 효율성 분석 결과 2015년도에는 제주공항(DMU3), 무안공항(DMU5), 청주공항(DMU6), 대구공항(DMU7), 여수공항(DMU10), 사천공항(DMU12), 군산공항(DMU14)을 제외한 나머지 공항들이 효율적인 공항으로 도출되었다. 2016년도에는 김해공항(DMU16), 양양공항(DMU18), 청주공항(DMU20), 여수공항(DMU24)을 제외한 나머지 공항들이 효율적인 공항으로 분석되었다.

유해산출물을 고려한 분석결과 2015년도에는 김포공항(DMU1), 김해공항(DMU2), 제주공항(DMU3), 광주공항(DMU8)으로 나타났고, 2016년도에는 김포공항(DMU15), 김해공항(DMU16), 제주공항(DMU17), 무안공항(DMU19), 대구공항(DMU21), 광주공항(DMU22)이 효율적인 공항으로 분석되었다.

효율성을 추정한 결과 각 공항의 효율성은 공항의 규모에 따라 큰 차이가 있는 것으로 보이고 있다. 대표적으로 2015년 데이터 기준 김포공항 및 김해공항은 유해산출물을 고려한 값과 고려하지 않은 효율성 값이 모두 1로 도출되었다. 그리고 2016년 데이터 기준으로도 김포공항, 제주공항 등의 규모가 큰 공항들이 효율성 값이 1로 도출되었다.

그에 반해 중소형 공항들은 유해산출물의 고려여부에 따라 효율성 값은 크게 변동되었다. 2016년 데이터 기준으로 살펴보면 우선 유해산출물을 고려하지 않은 분석에서는 김해, 양양, 청주, 여수를 제외한 모든 공항이 효율적인 항만으로 도출되었다. 하지만 유해산출물을 고려한 결과 김포, 김해, 제주, 무안, 대구 공항만 효율적인 공항으로 분석되었다.

또한, 2015년도 분석결과 무안, 청주, 대구, 여수, 사천, 군산 공항과 2016년도 분석결과 양양, 청주, 여수 공항은 모두 비효율적인 공항으로 분석되었다. 이는 공항의 규모 및 시설, 공항

의 이용객 수 등의 불균형으로 인해 나타난 것으로 사료된다.

이에 본 연구결과를 바탕으로 공항 규모 및 이용여객, 매출액, 화물처리량 등과 온실가스의 관계를 고려하여 환경적인 측면에서 공항의 효율성을 향상시킬 수 있는 운영 전략을 마련해야 할 것이다.

그리고 유해산출물인 이산화탄소를 적용했을 때 비효율적으로 도출된 공항에 대해서는 온실가스 저감 설비 및 정책 등을 마련해야 하고 투입변수와 산출변수와의 관계를 세부적으로 분석하여 각 부문별 효율성 증대 방안을 마련해야 할 것이다.

다만 본 연구에서 수행된 연구결과를 통한 결과값들이 실제 투입변수와 산출변수 간의 증가분, 감소분, 부족분 등의 관계를 명확하게 구분하기에는 한계점이 있다. 또한 현재 공항의 온실가스 배출량 데이터가 운영경계 및 조직경계에 따라 세부적으로 구분된다면 추후 추가적인 방법론 등을 통한 연구가 이루어질 것으로 사료된다.

## Reference

- [1] Song Ki Han, "Changes in the Air Transport Industry and Improvement Plan", Aviation Industry Issue Seminar, Sejong National Research Complex, 2018. pp.1~25
- [2] Seungjin Jeon, Chulung Lee, Measure the Productivity of Airport in Korea Considering Environment Factor : An Application of DEA, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 37(4), 2011, pp.350~357
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Study on the establishment of educational system for greenhouse gas reduction in aviation sector", 2015, pp.33-36.
- [4] Sarkis, J., An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States, Journal of Operational Management 18, 2000, pp.335~351.
- [5] D. H. Kim, A Study on the relative Efficiency of ATC Towers in Domestic Airports, Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 11(2), 2003, pp.59~77
- [6] Kyu-hun Yeo, Young Soo Lee, Cost Efficiency in Global Air Transport Industry, Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 15(4), 2007, pp.108~116
- [7] Fung, M. K. Y, Chau, K. W., Hui, Y. V., Productivity Changes in Chinese airports 1995-2004, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(3), 2008, pp.521~542
- [8] Chang-Hoon Shin, Dong-Hun Jeong, Data Envelopment Analysis for Container Terminals Considering an Undesirable Output-Focus on Busan Port & Kwangyang Port, Journal of navigation and port research, 37(2), 2013, pp.195~201
- [9] Taehwee Lee, Gi-Tae Yeo, Efficiency Analysis of Airports Considering CO2 emissions, Korean Journal of Logistics, 23(3), 2015, pp.81~92
- [10] Nam, Seung-Min, Son, Mi-Hye and Shin, Hong-Chul, A Study on the management efficiency of Low Cost Carrier in South Korea using DEA, Journal of Hospitality and Tourism Studies, 18(2), 2016, pp.345~358
- [11] Seuck-Cheun Yoo, Jie Meng and Sungmook Lim, An analysis of the performance of global major airports using two-stage network DEA model, Journal of the Korean Society for Quality Management 45(1), 2017, pp.065~092
- [12] Fare, R. and Grosskopf, S., "Nonparametric Cost Approach to Scale Efficiency", Scandinavian Journal of Economics, 87, 1985, pp. 594~604.
- [13] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", European Journal of Operational Research, 2(6), 1978, pp.429~444.
- [14] Banker, R, D., Charnes, A. and Cooper, W.W., "Some Models for estimating

- Technical and Xscale Inefficiencies in Data Envelopment analysis", *Management Science*, 30(9), 1984, pp.1078~1092
- [15] Fare, R. and Grosskopf, S., 1996, "Intertemporal Production Frontiers: With Dynamic DEA", Boston Kluwer Academic Publishers.
- [16] Chung, Y. H., Fare, R. and Grosskopf, S., "Productivity and Undesirable Output: A Directional Distance Function Approach", *Journal of Environmental Management*, 51, 1997, pp. 229~240.
- [17] Fare, R. and Grosskopf, S., "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation : Comment", *European Journal of Operational Research*, 157, 2004, pp. 242~245.